



For: The Patent Application

Our case No. NT0456US

**\* LIST OF THE PRIOR ART REFERENCES CITED IN THE SPECIFICATION**

1. Japanese Laid-open No. 2000-121987
2. Optics Letters/Vol.24, No.11/June 1, 1999 (P.711-713)  
"Coupled-resonator optical waveguide : a proposal and  
analysis"

X-1/

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-121987

(43)Date of publication of application : 28.04.2000

(51)Int.Cl.

G02B 27/00  
H04B 10/02  
H04B 10/18  
H04B 10/14  
H04B 10/135  
H04B 10/13  
H04B 10/12

(21)Application number : 10-298532

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 20.10.1998

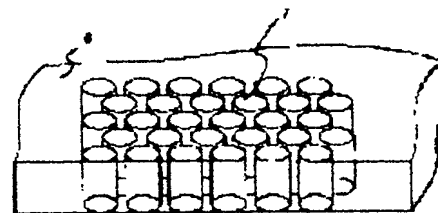
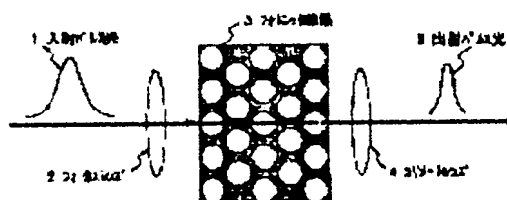
(72)Inventor : SHIRANE MASAYUKI

**(54) WAVELENGTH DISPERSION COMPENSATOR**

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To compensate the distortion of light pulse waveforms by wavelength dispersion by compact means.

**SOLUTION:** Chirped incident pulse light 1 in which the wavelength dispersion occurs is made incident on the end face of a photonic crystal 3 by a focusing lens 2. When the incident pulse signal light 1 propagates in this photonic crystal 3, the chirp is lessened by the dispersion characteristic of the photonic crystal 3. The pulse signal light emitted from the end face on the side opposite to the incident side is collimated by a collimating lens 4 to collimated light, which is made into exit pulse light 5. The photonic crystal 3 has a bulk structure in which media 7 having a second refractive index  $n_2$  are periodically embedded in a two-dimensional triangular grid form into a medium 6 having a first refractive index  $n_1$ . One of the two media varying in the refractive index may be air or vacuum. The periodic structure is not limited to the two-dimensional triangular grids and may be two-dimensional period structures of square grids, long grids, diagonal grids, etc., or may be a three-dimensional period structure.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination] 20.10.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 07.05.2001

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C): 1998,2000 Japanese Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-121987

(P2000-121987A)

(43) 公開日 平成12年4月28日 (2000.4.28)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード* (参考)
G 0 2 B 27/00		G 0 2 B 27/00	Z 5 K 0 0 2
H 0 4 B 10/02		H 0 4 B 9/00	M
10/18			Q
10/14			
10/135			

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 7 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-298532

(22) 出願日 平成10年10月20日 (1998.10.20)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 白根 昌之

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 100105511

弁理士 鈴木 康夫 (外1名)

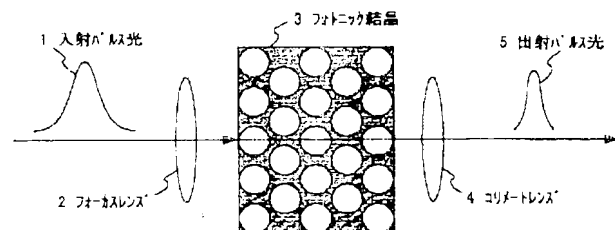
Fターム(参考) 5K002 BA02 CA01 FA01

(54) 【発明の名称】 波長分散補償器

(57) 【要約】

【課題】 波長分散による光パルス波形の歪みをコンパクトな手段により補償する。

【解決手段】 波長分散が生じている、チャープのついた入射パルス光1は、フォーカスレンズ2によってフォトニック結晶3の端面に入射される。入射されたパルス信号光1は、フォトニック結晶3を伝播すると、フォトニック結晶3の分散特性によりチャープが低減される。そして、入射側とは反対側の端面から出射されるパルス信号光は、コリメートレンズ4によってコリメート光となり、出射パルス光となる。フォトニック結晶3は、第1の屈折率 $n_1$ を有する媒質6中に第2の屈折率 $n_2$ を有する媒質7が2次元三角格子状に周期的に埋め込まれた格子構造になっている。屈折率の異なる2つの媒質のうち、一方は空気または真空でもよい。周期構造は2次元三角格子に限らず、正方格子、長方格子、斜方格子等の2次元周期構造、あるいは3次元周期構造でもよい。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光ファイバ伝送路における波長分散を低減させる波長分散補償器において、

前記波長分散補償器は、屈折率の異なる媒質を多次元格子状または多次元格子状に周期的に配列したフォトニック結晶を含み、前記フォトニック結晶の波長分散特性によって光ファイバ信号に波長分散補償を行うことを特徴とする波長分散補償器。

【請求項2】 前記フォトニック結晶の分散の大きい領域での波長分散特性を利用したことを特徴とする請求項1記載の波長分散補償器。

【請求項3】 前記波長分散補償器は光導波路構造を有し、前記光導波路構造にコアの部分の屈折率の異なる媒質を周期的に配列したフォトニック結晶からなることを特徴とする請求項1記載の波長分散補償器。

【請求項4】 前記フォトニック結晶は、動作波長において透明で、かつ屈折率の異なる二つの媒質が周期的に配列された周期構造を有していることを特徴とする請求項1または2記載の波長分散補償器。

【請求項5】 前記フォトニック結晶の波長分散特性を制御する手段を備えていることを特徴とする請求項1または2記載の波長分散補償器。

【請求項6】 前記フォトニック結晶の波長分散特性を制御する手段は、前記フォトニック結晶を含む率子を加熱または冷却する手段によって構成されていることを特徴とする請求項5記載の波長分散補償器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明に属する技術分野】本発明は、光ファイバなどの光ファイバ伝送路において生じた波長分散を相殺することにより伝送遅みを低減するため波長分散補償器に関する。

## 【0002】

【従来の技術】単一極元素であるシリシウム(Si)を添加した光ファイバ増幅器に発達により、波長1.35μm帯での伝送遅み大幅低減が可能となった。しかし、現在一般に光通信の伝送路として敷設されている零分散波長を1.35μm帯に持つ単一極元光ファイバ(以下、1.35μm SMFと略称)を用いて1.35μm帯に伝送を行う場合、零分散波長が知られているために大きな波長分散が生じて光信号が歪んでしまうという問題がある。

【0003】そのため、1.35μm SMFを用いて1.35μm帯での光通信を行うには、この波長分散を打ち消す技術が必要となる。その技術の一つとして、1.35μm SMFとは波長が逆で大きな波長分散をもつ分散補償ファイバ(以下、DCFと略称)を用いて、1.35μm帯での波長分散を相殺する方法がある。この方法を用いた具体的な分散補償構造の一つの例が、特開平9-116200号公報に開示されている。

【0004】この公報に開示されている方法は、コアとクラッドの屈折率分布を適切に選択することにより、所望の分散特性が実現されている。この方法は、DCFを伝送路に直列に挿入すればよいので、簡便な方法といえる。DCFの波長分散の絶対値は、1.35μm SMFのそれのせいぜい1.0倍程度であり、例えば、5.0 kmごとの中継地で分散補償をしようとするれば、5.0 kmほどの長さが必要となる。

【0005】通常、DCFを伝送装置に組み込む際には、コア部分をコア化し方が取り扱いは便利となるので、コア部分に巻いてコイル状にして伝送装置に組み込んで使用される。しかし、光ファイバをコイル状に巻く場合、光ファイバを曲げることによる放射損失を避けることを考えると、コアの半径をあまり小さくすることはできないので、分散補償装置のコイル化には限度がある。

【0006】他の定策技術としては、平面回路(以下、PLDと呼称)上に遅延路をもちける方法がある。その具体例がエレクトロニクス、ジャーナルの巻15号119号項(ELECTRONICS LETTERS, Vol. 31, No. 25, P. 2193)に開示されている。このPLDは、Si基板上に導波路が形成されており、その導波路は、二つの対称および非対称マッパシオン干渉計により構成されている。非対称干渉計の一方には、熱電位相シフトが備えられており、温度制御によって光路長を変化させ、分散補償を行っている。

【0007】このPLDの大きさは7.0×7.5 mmである。温度を変化させることにより、このPLDでは帯域16.0 dBで $-0.81 \sim -0.86$  p.s./nmという正から負の値の波長分散特性が得られている。1.35μm SMFは1.7 p.s./nm、5 km程度の波長分散量であるから、このPLDを用いるには約5.0 kmごとに中継すればよいことになる。しかし、帯域が16.0 dBと狭く、20 GHz以上の高速通信や、波長多重の場合には使用することできない。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】上記従来の波長分散補償の方法では、大きさをコイル状にし、かつ補償帯域を広くするのは困難であった。

【0009】本発明の目的は、例えば、1.35μm SMF中の波長1.35μmの光信号を伝送する時に生じる波長分散を相殺することができる、コンパクトな簡便な手段を提供することにある。

## 【0010】

【課題を解決するための手段】本発明による波長分散補償器は、屈折率の異なる二つの媒質を多次元格子状または多次元格子状に周期的に配列したフォトニック結晶を含み、前記フォトニック結晶の分散の大きい領域での波長分散特性を制御することによって波長分散補償を行うことを特徴とする。

【0011】また、本発明の波長分散補償器は、フォトニクス結晶内に光パルスを高効率に閉じこめうための波長分散補償器と導波路構造を有し、その導波路構造のコアの部分で前記フォトニクス結晶によって構成されておることを特徴とする。

【0012】さらに、本発明の波長分散補償器は、フォトニクス結晶を含む導波路の温度を制御することにより、フォトニクス結晶の波長分散特性を制御する手段を備えていることを特徴とする。

【0013】本発明では、フォトニクス結晶の内部、特に分散の大きい領域で、波長分散特性を利用することにより、光パルス伝送路で生じた波長分散を補償する。通常の光結晶では、分散特性が大きく変化するには共振領域であり、吸収による損失を避けられない。しかしながら、屈折率の異なる2つの媒質を元の波長程度に周期的に並べた構造を持つ結晶、すなわちフォトニクス結晶では、非共振領域においても大きな分散特性を示す。

【0014】波長分散量の大きければ分散補償に必要な素子の大きさが小さくなるため、コンパクトな波長分散補償器を提供することができる。また、フォトニクス結晶を構成する2つの媒質の屈折率を変えたり、あるいは2つの媒質の繰り返し形状を変えることで、その動作波長および波長分散の大きさは容易に制御することができるため、簡便な方法によって波長分散量を制御することができる。

#### 【0015】

【発明の実施の形態】図1は、本発明による波長分散補償器の第1の実施形態を示す図である。図1において、波長分散が生じている、すなわちチャープのついた入射のコヒーレント光1は、フォトニクス結晶によってフォトニクス結晶の端面に入射される。入射されたパルス信号光1は、フォトニクス結晶を伝播すると、フォトニクス結晶の分散特性によりチャープが低減される。そして、入射側とは反対側の端面から出射されるパルス信号光は、コヒーレント光2となり、スプリット光となる。出射光はパルス光となる。

【0016】図2は、フォトニクス結晶の概略図を示しており、第1の屈折率 $n_1$ を有する媒質の中に第2の屈折率 $n_2$ を有する媒質7が三角格子状に周期的に埋め込まれたパルス構造になっている。屈折率の異なる2つの媒質のうち、一方は空気または真空中に占められる。周期構造は図2に示した三角格子の場合に限ら

$$V_g = \frac{d\omega}{dk} = c \frac{d(\omega a/2\pi c)}{d(ka/2\pi)} \quad (式1)$$

この値は、図4ではそれぞれ分枝の傾きに光速を掛けただけになっている。図4中のバンド構造を、下から3番目のバンドと3番目のバンドで示してある。この分枝はとくに傾きが大きい。すなわち群速度が非常に速い。このため、光の進行方向に他の光路長が長くなるため、

正方形格子、長方形格子、斜方形格子等、種々の2次元周期構造の他、3次元周期構造をとることができる。

【0017】図3の2次元周期構造は次のような方法によって製作可能である。すなわち、第1の屈折率 $n_1$ を有する媒質を形成とする基板にエッチングによって周期的な溝をあけた後、その上に第2の屈折率 $n_2$ を有する媒質7を埋め込む。もしくは単に溝をあけたままにする、つまり第1の屈折率を有する媒質7を空気とする方法である。

【0018】次に本発明による波長分散補償動作について、図3～図5を参照して説明をする。図3のフォトニクス結晶は、図2に示す三角格子の周期構造となっている。また、第1の屈折率 $n_1$ を有する媒質をS1、第2の屈折率 $n_2$ を有する媒質を空気としている。空気穴の直径は $a = 800 \text{ nm}$ 、配列ピッチは $a = 1.7 \mu\text{m}$ である。光1の伝播方向の長さ $l$ は $1 \text{ mm}$ としている。なお、空気穴の中に他の媒質を埋め込むこともできる。また、屈折率の異なる媒質によって形成してもよい。これとは逆に、エッチングによって凹部を残すようにしてもよい。また、媒質をS1ではなく、動作波長において透明な、例えばSi、GaAsなど他の材料としても作製可能である。

【0019】この三角格子の周期構造は、立方対称に対応し、等価的な正六角形構造のブリルアンゾーンが形成される。正六角形の頂点が $\Gamma$ 点、各辺の中点がX点、そして波数 $k=0$ となる $\Gamma$ 点である。また、 $\Gamma$ 面(X面)とは、 $\Gamma$ 点から $X$ 点(X点)方向に垂直な面のことを指す。

【0020】図4は、前記S1と空気からなる三角格子に対するエネルギバンドの構造を表している。縦軸は規格化したエネルギ（ $\omega a/2\pi c$ ）を表し、横軸は第一ブリルアンゾーン内の規格化した波数（ $k a/2\pi$ ）を表している。ここで、 $a$ は格子間隔、 $\omega$ は真空中での角速度、 $k$ は波の振動数、 $n$ は波数をそれぞれ表す。ここには磁場の偏波面が周期構造をなす2次元平面内にあるMモードのみを示しており、これを例にとって説明する。

【0021】一般に、媒質中で波束が進行する速度、すなわち群速度 $V_g$ は次の式1で定義される。

【0022】

【数1】

通常の結晶に比べてより短い長さで分散率を下げることができる。図5は、この分枝の分散拡大図である。

【0023】光ファイバにおける波長分散を表すベクトル $\beta$ は式2で表される。

【0024】

【数2】

$$D = \frac{d}{d\lambda} \left[ \frac{dk}{d\omega} \right] = \frac{d}{d\lambda} \left[ \frac{1}{Vg} \right] \quad (式2)$$

群速度 $Vg$ の逆数、つまり図4では傾きの逆数の変化は、大きいほど $D$ の絶対値は大きくなる。式2を用いれば $D$ の符号は $\Gamma$ 点近傍では負、 $M$ 点近傍では正となり、また $Vg$ が十分に急峻に近づいているためにその絶対値は非常に大きくなることからわかる。

【0025】図5において、入射パルス光1により、 $\Gamma$ 点 $M$ 点を通過してきた波長 $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ の光の波長分散の値を示す。この波長における $\Gamma$ 点 $M$ 点の波長の散 $D$ は正である。すなわち、パルス光の前方、つまりフォトリソ法結晶3に近い方には短波長成分が、後方には長波長成分が偏在するチャープになったパルス光となっている。そこで、図5において、 $D$ の値が大きな負値となる $\Gamma$ 点付近の波長分散特性を利用すればよいことになる。

【0026】式2を用いてその波長分散を求めると図6となる。図6では $1.55 \mu\text{m}$ 近傍での分散特性を示しており、 $1.55 \mu\text{m}$ における値は $-7.5 \text{ ps}^{-1} \cdot \text{nm}$ である。 $1.55 \text{ Mm}$ で $1.55 \mu\text{m}$ における波長分散の大きさは $1.71 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1} \cdot \text{km}$ 程度であるから、例えば $50 \text{ km}$ 毎に中継して補償しようとするれば、波長分散の大きさは $1.71 \times 10^{-11} \times 50 = 8.55 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1} \cdot \text{nm}$ となるから、 $-8.55 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1} \cdot \text{nm}$ の波長分散が必要になる。

【0027】従って、実施例に示す長さ $5 \text{ mm}$ のフォトリソ法結晶を直列に12個つなぎ合わせることによって $50 \text{ km}$ の光ファイバ中での波長分散が補償できる。ここで、 $50 \text{ km}$ 角に基板上に作装することが可能となり、従来の $\Gamma$ 点 $M$ 点による分散補償方式と比較して小型化することができる。また、このとき帯域は $100 \text{ nm}$ 以上であり、従来の $\Gamma$ 点 $M$ 点による分散補償方式において得られた帯域 $100 \text{ nm}$ 以上の10倍以上とすることができ、前述の波長多重伝送に用いることが可能となる。

【0028】逆に、入射パルス光1が、 $D$ の符号が負の伝送路を伝播してきたとすれば、 $\Gamma$ 点に代わりの $M$ 点付近の波長分散特性を利用することでも分散補償が可能となる。式2を用いて $M$ 点近傍での波長分散特性を求めるに図7となる。このとき例えば $1.55 \mu\text{m}$ における値は $+8.2 \text{ ps}^{-1} \cdot \text{nm}$ に出ており、 $1.55 \mu\text{m}$ の場合とは逆符号の分散特性をもつことになる。これにより、 $1.55 \mu\text{m}$ 付近において負の波長分散を有する伝送路を伝播してきたパルス光の波長分散補償が可能となる。

【0029】図4において、入射光を伝送経路は $\lambda = a$ 、 $2a$ で $\omega = \omega_1$ 、 $\omega_2$ の値であり、ここに入射波長である。本実施例では下から順番の分散の $\Gamma$ 点近傍（縦軸でいえば）、 $1.561 \mu\text{m}$ の波長 $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ に対応しているが、三角格子の格子定数の $a$ を変化させる

ことで対応する波長を変化させることが可能である。すなわち、本実施例において波長 $1.55 \mu\text{m}$ だったものを $1.52 \mu\text{m}$ にすれば、 $1.55 \mu\text{m}$ になる。この場合、 $a$ の直径も同様に $1.52 \mu\text{m}$ にする。

【0030】よって、図5における $\Gamma$ 点および $M$ 点近傍での分散特性と三角格子の配列ピッチを変化させることで任意の波長における正負両符号の波長分散を伴出させることができることがわかる。またその絶対値はパルス光の伝播距離、つまり素子長を変えることで制御できる。以上により、任意の波長における任意の波長分散量を補償できることがわかる。

【0031】以上のように、本発明によれば、フォトリソ法結晶の特有な分散特性を利用することでチャープの付いた光パルス波長を復元することができる。出射パルス光は入射パルス光よりもパルス幅が短くなっているため、この分散補償はパルス圧縮を行なっているとも言えることができる。

【0032】図8は、本発明による波長分散補償器の第1の実施形態を示している。この第1の実施形態においては、フォトリソ法結晶内に光素子を高効率に閉じ込めるために光導波路構造を採用している。

【0033】すなわち、 $S1$ 基板11上に、厚さ約 $5 \mu\text{m}$ の $S1$ の2層ラット層12を積層する。そしてこの上に厚さ $2 \mu\text{m}$ の $S1$ 層13を積層し、エッチングによって $S1$ 層13に三角格子状に直径が $0.80 \mu\text{m}$ 、配列ピッチが $0.87 \mu\text{m}$ の穴をあける。これにより空気円柱14が形成される。

【0034】 $S1$ 層13に空気円柱14が周期的に配列されているためこれらはフォトリソ法結晶を形成し、光導波路における部分となる。さらにこの上に $S1$ 層15を $2.0 \mu\text{m}$ 積層してクラッド層15とする。ただし、厚さ約 $5 \mu\text{m}$ の $S1$ 層を残してクラッド状にエッチングし、クラッド幅 $5 \mu\text{m}$ 前後にリッス16の構造を形成する。

【0035】この構造によって、コア層であるフォトリソ法結晶は光素子が高効率に閉じ込められ、損失を抑えている。導波路の長さは $5 \text{ mm}$ である。光の入射方向は図9中に矢印で示してあり、結晶への入射面は上面である。フォトリソ法結晶の分散の大きい領域においては、光導波路の導波モードの分散特性を支配するのはフォトリソ法結晶の分散特性そのものであり、第1の実施形態と同様な動作特性が得られる。第1の実施形態との違いは、光を導波路に閉じ込めておく点だけである。

【0036】図9は、本発明による波長分散補償器の第

3の実施の形態を示している。この第3の実施の形態は、第1の実施の形態に対して、フォトニック結晶3の温度を変化させるヒータ21と温度計22、温度を制御する温度コントローラ23を加えた構造となっている。温度コントローラ23で温度を設定し、温度計22が設定温度を計すようにヒータ21の熱量を制御する。

【0037】屈折率は温度に依存するという性質をもつため、フォトニック結晶3に熱を加えると図4のバンド構造が変化する。その結果、図6および図7に示した波長分散量が変化する。従って、既に施設されているファイバの波長分散のばらつき、あるいはフォトニック結晶3に作製上の誤差などを、この温度制御によって相殺することからできることになる。

【0038】温度調節手段として、ヒータ23の代わりに冷却素子を用いても構わない。また、加熱と冷却の2つの素子を組み合わせることでより温度調節をする手段も考えられる。

【0039】なお、実施例では、1.3SMFでの波長1.55μmの光信号を伝送する場合の波長分散補償器について説明したが、本発明におけるフォトニック結晶を含む波長分散補償器は、1.3SMFでの波長1.55μmの光信号に限らず、任意の波長分散を有する光パルス伝送路における波長分散を相殺する、コンパクトかつ簡便な波長分散補償器として構成することができる。

【0040】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、フォトニック結晶という波長分散特性を自由に制御できる媒質を分散補償素子として用いる基本構成に基づき、従来からある分散補償ファイバや平面光回路と比較してよりコンパクトな波長分散補償器が提供される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による波長分散補償器の第1の実施の形態を示す図である。

【図2】本発明で用いられる2次元フォトニック結晶の例を示す概略図である。

【図3】本発明の波長分散補償器の動作を説明するための構成図である。

【図4】本発明のフォトニック結晶で得られるバンド構造を示す図である。

【図5】本発明で用いるマシ-X間の下から3番目の分枝の分散拡大図である。

【図6】本発明の第1の実施例による波長分散補償器の波長分散（負の波長分散）特性図である。

【図7】本発明の第1の実施例による波長分散補償器の波長分散（正の波長分散）特性図である。

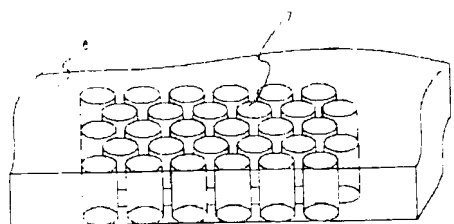
【図8】本発明による波長分散補償器の第2の実施の形態を示す図である。

【図9】本発明による波長分散補償器の第3の実施の形態を示す図である。

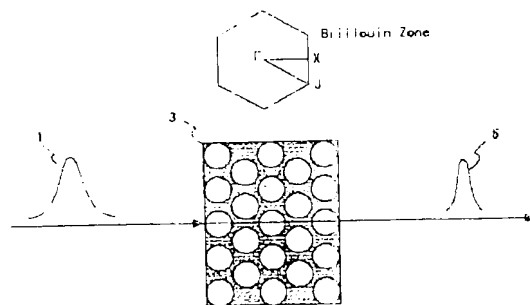
【符号の説明】

- |    |                        |
|----|------------------------|
| 1  | 入射光パルス                 |
| 2  | フォトニック結晶               |
| 3  | フォトニック結晶               |
| 4  | コレクタレンズ                |
| 5  | 出射光パルス                 |
| 6  | 屈折率 $n_1$ を有する媒質       |
| 7  | 屈折率 $n_2$ を有する媒質       |
| 11 | Si基板                   |
| 12 | SiO <sub>2</sub> クラッド層 |
| 13 | Si層                    |
| 14 | 空気穴                    |
| 15 | SiO <sub>2</sub> クラッド層 |
| 21 | ヒータ                    |
| 22 | 温度計                    |
| 23 | 温度コントローラ               |

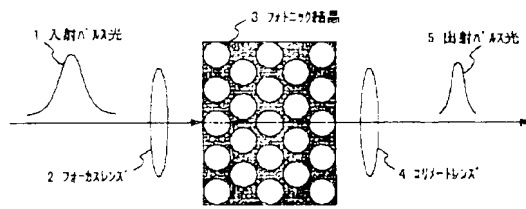
【図2】



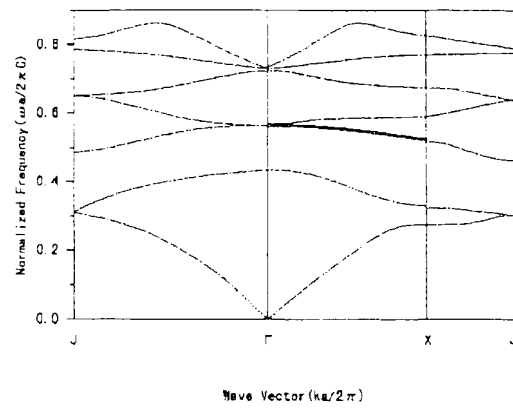
【図3】



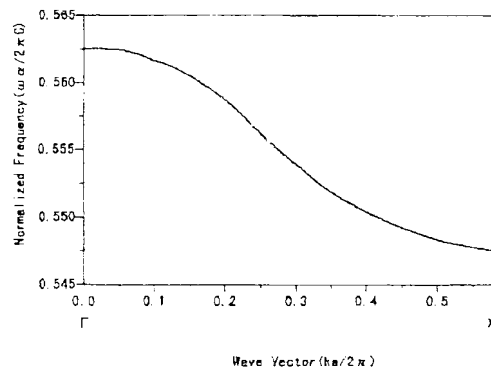
【図1】



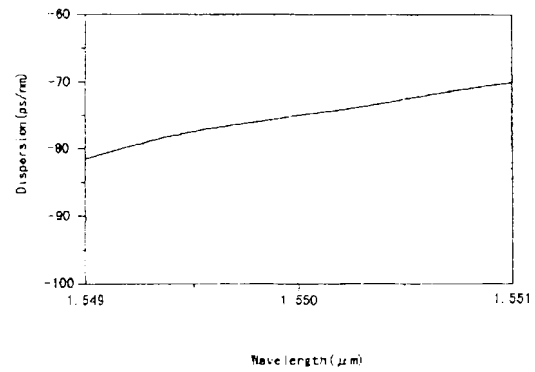
【図4】



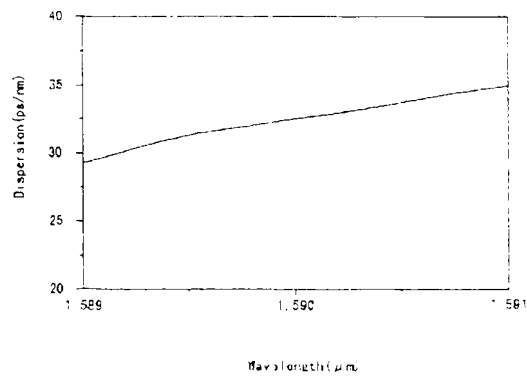
【図5】



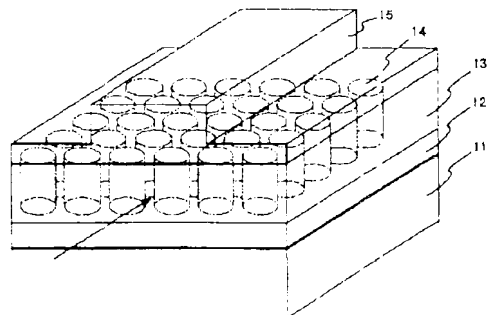
【図6】



【図7】

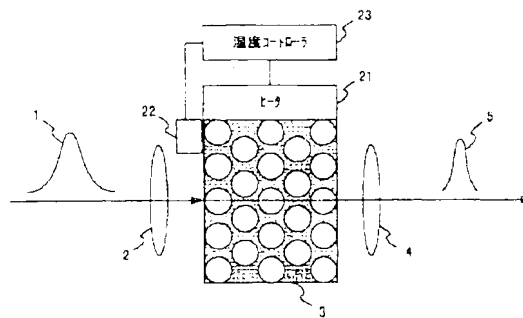


【図8】





【図9】



フロントページの続き

51) Int. Cl.

H 0 4 B 10/13  
10/12

識別記号

F I

サーチコード (参考)